

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 7月25日
Date of Application:

出願番号 特願2003-279732
Application Number:

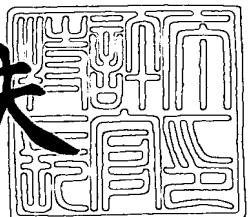
[ST. 10/C] : [JP2003-279732]

出願人 豊田合成株式会社
Applicant(s):

2003年 8月 7日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3063432

●

【書類名】 特許願
【整理番号】 03P00352
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 33/00
【発明者】
【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地
豊田合成株式会社内
【氏名】 瀧 哲也
【特許出願人】
【識別番号】 000241463
【氏名又は名称】 豊田合成株式会社
【代表者】 松浦 剛
【電話番号】 0587-34-3305
【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2002-272554
【出願日】 平成14年 9月19日提出の特許願
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 043096
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

p型不純物を添加した第1のIII族窒化物系化合物半導層の形成工程と、不純物無添加の、若しくはn型不純物を添加した若しくはn型不純物及びp型不純物を添加した第2のII族窒化物系化合物半導層の形成工程を有し、第2のIII族窒化物系化合物半導層の形成工程の後又は第2のIII族窒化物系化合物半導層の形成工程に重ねて低抵抗化処理工程を有することを特徴とするp型III族窒化物系化合物半導体の製造方法。

【請求項 2】

前記低抵抗化処理工程の後又は前記低抵抗化処理工程に重ねて第2のIII族窒化物系化合物半導体層を除去する工程を有することを特徴とする請求項1に記載のp型III族窒化物系化合物半導体の製造方法。

【請求項 3】

前記第2のIII族窒化物系化合物半導体層の膜厚は1nm以上100nm以下であることを特徴とする請求項1及び請求項2に記載のp型III族窒化物系化合物半導体の製造方法。

【請求項 4】

前記第2のIII族窒化物系化合物半導体層のn型不純物及びp型不純物の添加量は、前記第1のIII族窒化物系化合物半導層のp型不純物の添加量よりも少ないことを特徴とする請求項1乃至請求項3に記載のp型III族窒化物系化合物半導体の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】p型III族窒化物系化合物半導体の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、紫外領域から赤色の発光ダイオード、レーザダイオード等の光デバイスや高温デバイス等の電子デバイスに使用されるIII族窒化物系化合物半導体に関し、特に低抵抗のp型III族窒化物系化合物半導体の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に有機金属気相成長法(MOVPE法)で作製したIII族窒化物系化合物半導体においては、p型不純物を添加しただけでは同じIII-V族化合物半導体である燐化ガリウム(GaP)や砒化ガリウム(GaAs)系半導体のように低抵抗のp型半導体結晶を得ることができない。それは、例えば、p型不純物であるMg(マグネシウム)がIII族窒化物系化合物半導体結晶内で、アクセプタとして本来機能しうるIII族元素と置き換わった位置に入ったとしても、原料ガス(例えば、TMG(トリメチルガリウム)又は、アンモニア)に含まれ結晶成長時に分離した水素と結合することにより、Mgがアクセプタとして機能する活性化を妨げていることが原因と考えられている(例えば、非特許文献1を参照)。

【0003】

そのため、III族窒化物系化合物半導体においては、低抵抗のp型結晶を得るために、p型不純物を添加した後に電子線を照射する等の熱処理を行うことで $2 \sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$ の抵抗率(ホールキャリア濃度においては、 $1 \sim 2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度)を得ている。この熱処理による低抵抗率化については、p型不純物であるMgと結合している水素が熱により切り離され、結晶内から脱離するという考え方が報告されている(例えば、非特許文献2、特許文献1、特許文献2を参照)。

【非特許文献1】Jpn. J. Appl. Phys. vol. 31 (1992) pp. 1258-1266

【非特許文献2】応用物理、第60巻、1991年、163頁

【特許文献1】特開平5-183189号公報(第6頁、図1)

【特許文献2】特開平5-198841号公報(第5頁、図1)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、p型のIII族窒化物系化合物半導体の抵抗率は前述のGaP系やGaAs系の化合物半導体に比較して依然として1桁程度高く、p型不純物の活性化は充分達成されたとは言えない。一方、特開平8-97471号公報の図12に見られるように、III族窒化物系化合物半導体の場合、p型不純物であるMgの添加量を増加させた場合、ある添加量まではホールキャリア濃度に増加傾向、即ち、抵抗率に減少傾向が見られるものの、ある添加量を越えるとホールキャリア濃度は減少傾向、即ち、抵抗率に増加傾向が見られるようになる。このホールキャリア濃度飽和現象は、p型不純物であるMgの活性化を妨げている原因が原料ガスに含まれる水素とMgとの結合にあることのみでは説明することができない。本発明者はこの原因が、p型不純物であるMgがIII族窒化物系化合物半導体の結晶成長過程で、例えば、III族元素であるGa(ガリウム)と置き換わるMgの他にII族窒化物系化合物半導体の結晶間隙に保持されるMgが存在し、この結晶間隙に保持されるMgがGaの位置に置き換わるMgとコンペンセイトすること(自己補償効果)にあると考えた。

【0005】

従って、本発明の目的は、結晶間隙に保持されるp型不純物を効率良く結晶内から脱離させ、前述のGaP系やGaAs系化合物半導体と同等な低抵抗のp型のIII族窒化物系

化合物半導体の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の低抵抗な p 型のIII族窒化物系化合物半導体の製造方法は、請求項 1 によれば、p 型不純物を添加した第 1 のIII族窒化物系化合物半導層の形成工程と、不純物無添加の、若しくは n 型不純物を添加した若しくは n 型不純物及び p 型不純物を添加した第 2 のIII族窒化物系化合物半導層の形成工程を有し、第 2 のIII族窒化物系化合物半導層の形成工程の後又は第 2 のIII族窒化物系化合物半導層の形成工程に重ねて低抵抗化処理工程を有することである。なお、n 型不純物若しくは n 型不純物及び p 型不純物を添加するのは、n 型不純物を添加する場合は、第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層に添加されているアクセプタとして機能する p 型不純物とは反対の性質を有するドナーとして機能する n 型不純物を添加することにより、第 1 のIII族窒化物系化合物半導体の結晶間隙に存在する p 型不純物が第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層中に取り込まれる、即ち、溶解度を増大させるためである。n 型不純物及び p 型不純物を添加する場合は、上記の n 型不純物添加の効果に加え、第 1 のIII族窒化物系化合物半導体の結晶間隙に存在する p 型不純物の第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層中への拡散を促進させるためである。

【0007】

また、請求項 2 によれば、請求項 1 の発明に加え、低抵抗化処理工程の後又は低抵抗化処理工程に重ねて第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層を除去する工程を有することである。第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層を除去することにより、低抵抗化処理された第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層上に電極を形成することが可能となるからである。

【0008】

また、請求項 3 によれば、第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層の膜厚は 1 nm 以上 1 00 nm 以下である。1 nm より薄いと第 1 のIII族窒化物系化合物半導体内の結晶間隙に存在する p 型不純物を取り込むことが充分できず、また、1 00 nm より厚いと第 2 のIII族窒化物系化合物半導体自体は第 1 のIII族窒化物系化合物半導体よりも抵抗率が高い（即ち、ホールキャリア濃度が低い）ため、デバイスにした場合に駆動電圧が上昇するという不具合や金属とのオーミック接触を考慮する場合は、オーミック接合が得られないという不具合をも生ずるからである。

【0009】

更に請求項 4 によれば、第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層の p 型不純物の添加量は、前記第 1 のIII族窒化物系化合物半導層の p 型不純物の添加量よりも少ないとある。不純物濃度差により、第 1 のIII族窒化物系化合物半導層から第 2 のIII族窒化物系化合物半導層への p 型不純物の移動（拡散）を可能とするためである。

【発明の効果】

【0010】

上記のように、p 型不純物を添加した第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層の形成工程と、不純物無添加の、若しくは n 型不純物を添加した若しくは n 型不純物及び p 型不純物を添加した第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層の形成工程を有することにより、第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層と第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層との間の p 型不純物の濃度に差をつけ、p 型不純物の濃度の高い第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層から p 型不純物の濃度の低い第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層へ p 型不純物が移動する拡散現象を利用して第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層の結晶間隙に存在する p 型不純物を第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層に移動させることにより第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層から脱離させ、更に第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層の形成工程の後又は第 2 のIII族窒化物系化合物半導体層の形成工程に重ねて行う低抵抗化処理によって第 1 のIII族窒化物系化合物半導体層の p 型不純物の活性化率を向上させることができるのである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

(III族窒化物系化合物半導体)

III族窒化物系化合物半導体とは、一般式として $A_{1-x}G_aY_{In_{1-x-y}N}$ ($0 \leq X \leq 1$ 、 $0 \leq Y \leq 1$ 、 $0 \leq X+Y \leq 1$) で表され、AlN、GaN及びInNのいわゆる2元系、 $Al_xGa_{1-x}N$ 、 $Al_xIn_{1-x}N$ 及び $Ga_xIn_{1-x}N$ (以上において $0 < x < 1$) のいわゆる3元系を包含するものをいう。なお、III族元素の少なくとも一部をB (ホウ素)、Tl (タリウム)等で置換しても良く、また、N (窒素)の少なくとも一部もP (リン)、As (ヒ素)、Sb (アンチモン)、Bi (ビスマス)等で置換することができる。

【0012】

(p型不純物)

p型不純物とは、II族元素であるMg、Zn (亜鉛)、Be (ベリリウム)、Ca (カルシウム)、Sr (ストロンチウム)、Ba (バリウム)をいう。

【0013】

(n型不純物)

n型不純物とは、IV族元素であるSi (シリコン)、Ge (ゲルマニウム)、C (炭素)及びV族元素であるSe (セレン)、Te (テルル)をいう。

【0014】

(低抵抗化処理)

低抵抗化処理は熱処理によって行われる。熱処理の方法としては、既存の電子線照射、レーザ照射による加熱処理やオーブンのような炉内で加熱することにより行うことが出来る。なお、熱処理を行う場合の雰囲気は真空中、N₂、He、Ar等の不活性ガス若しくは酸素を含む雰囲気中で行い、水素を含まない雰囲気で行うことが好ましい。水素が含まれていると、p型不純物と結合していた水素がIII族窒化物系化合物半導体結晶内から脱離するのを阻害するからである。また、熱処理温度は350℃以上に維持することが好ましい。p型不純物と水素との結合を切るためのエネルギーが必要だからである。

【0015】

以下、実施例を用いて本発明の構成をより詳細に説明する。

【実施例1】

【0016】

実施例1は、第2のIII族窒化物系化合物半導体層に不純物を添加しない場合である。図1は本実施例の構成を模式的に示した図である。各層のスペックは次の通りである。

【0017】

層 : 組成 (不純物)

第2のIII族窒化物系化合物半導体層 14 : Ga_{0.85}In_{0.15}N

第1のIII族窒化物系化合物半導体層 13 : GaN (Mg)

バッファ層 12 : AlN

基板 11 : サファイア

まず良く洗浄したサファイア基板をMOVPE装置 (以下「反応装置」という。) 内のセプタに載置した。反応装置内を真空排気した後に、水素ガスを流しながら基板を1050℃で、20分間、サファイア基板の表面をエッティングし清浄化した。その後、基板温度を400℃まで降温し、Al源としてTMA (トリメチルアルミニウム)ガス、N源としてアンモニアガス、キャリアガスとして水素ガスを流しながら、AlNバッファ層を30nmの膜厚で成長させた。

【0018】

次にTMAガスのみを止め、温度を1000℃まで上昇させた後、Ga源としてTMG (トリメチルガリウム)ガス、p型不純物であるMg源としてCp₂Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)ガスを流しながら20分間成長させて、第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加したGaN層を200nmの膜厚で成長させた。なお、Mgの添加量は $1 \times 10^{-9} / \text{cm}^3$ と $2 \times 10^{-2} / \text{cm}^3$ の2水準を設定した。

【0019】

次にTMGガス、 Cp_2Mg ガス及び水素ガスを止め、キャリアガスとして窒素ガスを流し、温度を800℃まで降温させた後、In源としてのTMI（トリメチルインジウム）ガスとTMGガスを流しながら5分間成長させて、第2のIII族窒化物系化合物半導体層である $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ 層を10nmの膜厚で成長させた。

【0020】

次にTMGガス、TMIガス、アンモニアガスを止め、温度を800℃で、10分間維持した後、室温まで冷却し、以上を成長させたウエハを反応装置から取りだし、電子線照射装置に入れ、加速電圧5kV、試料電流 $10\mu\text{A}$ の条件とすることで第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加した GaN 層及び第2のIII族窒化物系化合物半導体層である $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ 層の温度を約600℃にして電子線照射を行った。

【0021】

電子線照射して得られた第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加した GaN 層のホール測定を行った結果、Mgの添加量が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の時は抵抗率 $0.8 \Omega \cdot \text{cm}$ 、ホールキャリア濃度 $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ であり、 $2 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の時は抵抗率 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ 、ホールキャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ であった。これは、従来に比べて極めて優れた特性を示しており、Mg添加量の増加とともにホールキャリア濃度の増加、即ち、低抵抗化が可能となった。また、特開平8-97471号公報の図12に見られるホールキャリア濃度の飽和現象も解消したことを示している。

【実施例2】

【0022】

実施例2は、第2のIII族窒化物系化合物半導体層にn型不純物を添加した場合である。実施例1において、第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgドープ GaN 層を成長させた後の第2のIII族窒化物系化合物半導体層である $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ 層を成長させる際に、TMIガス、TMGガス、アンモニアガス、窒素ガスに SiH_4 （シラン）ガスを同時に流してn型不純物としてSiを添加した。

【0023】

実施例1と同様に電子線照射を行い得られた第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加した GaN 層のホール測定を行った結果は実施例1とほぼ同様であり、従来に比べて極めて優れた特性を示した。

【実施例3】

【0024】

実施例3は、第2のIII族窒化物系化合物半導体層にn型不純物とp型不純物を添加した場合である。実施例1において、第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加した GaN 層を成長させた後の第2のIII族窒化物系化合物半導体層である $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ 層を成長させる際に、TMIガス、TMGガス、アンモニアガス、窒素ガスに SiH_4 （シラン）ガスとDEZ（ジエチル亜鉛）ガスを同時に流してn型不純物としてSi、p型不純物としてZnを同時に添加した。

【0025】

実施例1と同様に電子線照射を行い得られた第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加した GaN 層のホール測定を行った結果は実施例1とほぼ同様であり、従来に比べて極めて優れたp型特性を示した。

【実施例4】

【0026】

実施例4は、第2のIII族窒化物系化合物半導体層を除去する場合である。実施例1乃至実施例3に示したように、第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加した GaN 層の上に不純物無添加の、若しくはSi添加、若しくはSi及びZn添加の第2のIII族窒化物系化合物半導体層である $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を成長させた。次に、窒素ガス以外のガスを止め、温度を1000℃に上昇させ、10分間維持した。この場合においては、第2のIII族窒化物系化合物半導体層である $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ 層が熱分解すると共に、反応装置内において、第1のIII族窒化物系化合物半導体層の低



抵抗化のための熱処理が同時に行われた。

【0027】

このようにして得られた第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加したGaN層のホール測定を行った結果は実施例1とほぼ同様であり、従来に比べて極めて優れたp型特性を示した。

【実施例5】

【0028】

実施例5は、本発明を用いた発光ダイオードの場合である。まず良く洗浄したサファイア基板を反応装置内のサセプタに載置した。反応装置内を真空排気した後に、水素ガスを流しながら基板を1050°Cで、20分間、サファイア基板の表面をエッティングし清浄化した。その後、基板温度を400°Cまで降温し、Al源としてTMA（トリメチルアルミニウム）ガス、N源としてアンモニアガス、キャリアガスとして水素ガスを流しながら、AlNバッファ層を30nmの膜厚で成長させた。

【0029】

次にTMAガスを止め、温度を1000°Cまで上昇させた後、Ga源としてTMGガス、アンモニアガス、SiH₄ガスを流しながら成長させて、Siを添加したGaN層を4μmの膜厚で成長させた。

【0030】

次にTMGガス、TMIガス、アンモニアガスを用いてGaNとGa_{0.80}In_{0.20}Nの積層構造からなる量子井戸構造の発光する層を含む層を成長させた。

【0031】

次にTMA、TMGガス、Cp₂Mgガス、アンモニアガスを用い、温度1000°Cで第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加したAl_{0.15}Ga_{0.85}Nを成長させた。

【0032】

次にキャリアガスとして窒素ガスを流し、温度を800°Cまで降温させた後、TMIガス、TMGガス、アンモニアガスを流しながら5分間成長させて、第2のIII族窒化物系化合物半導体層であるGa_{0.85}In_{0.15}N層を10nmの膜厚で成長させた。

【0033】

次に温度を1000°Cに上昇させた。この昇温により第2のIII族窒化物系化合物半導体層であるGa_{0.85}In_{0.15}N層は熱分解し、消滅した。また、この昇温により第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加したAl_{0.15}Ga_{0.85}Nの熱処理が行われ、Al_{0.15}Ga_{0.85}N層の低抵抗化が行われた。

【0034】

次にキャリアガスとして水素ガスを流し、TMGガス、Cp₂Mgガス、アンモニアガスを用い、温度1000°Cで第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加したGaNを成長させた。

【0035】

次にキャリアガスとして窒素ガスを流し、温度を800°Cまで降温させた後、TMIガス、TMGガス、アンモニアガスを流しながら5分間成長させて、第2のIII族窒化物系化合物半導体層であるGa_{0.85}In_{0.15}N層を10nmの膜厚で成長させた。

【0036】

次にTMGガス、TMIガス、アンモニアガスを止め、温度を800°Cで、10分間維持した後、室温まで冷却し、以上を成長させたウエハを反応装置から取りだし、電子線照射装置に入れ、加速電圧5kV、試料電流10μAの条件にて第1のIII族窒化物系化合物半導体層であるMgを添加したGaN層及び第2のIII族窒化物系化合物半導体層であるGa_{0.85}In_{0.15}N層の温度を約600°Cにして電子線照射を行った。

【0037】

次にウエハの一部をエッティングしてSiを添加したGaN層を露出させ、Siを添加したGaN層及び第2のIII族窒化物系化合物半導体層であるGa_{0.85}In_{0.15}N

層上にオーミック電極を形成した後、ダイシングソーでチップ状にカットした。その後、リードフレーム上に実装し、ワイヤーボンディング、樹脂封止してランプを作製した。電流を印加したところ、従来では、電極直下にのみに観測された発光に広がりが観測され、順方向電圧も20mAで3.2Vと従来に比較して5%程度の改善が見られた。

【実施例6】

【0038】

実施例6は、実施例5と同様に本発明を用いた発光ダイオードの場合である。まず良く洗浄したサファイア基板61を反応装置内のサセプタに載置した。反応装置内を真空排気した後に、水素ガスを流しながら基板を1050℃で、20分間、サファイア基板61の表面をエッティングし清浄化した。その後、基板温度を400℃まで降温し、A1源としてTMAガス、N源としてアンモニアガス、キャリアガスとして水素ガスを流しながら、A1Nバッファ層62を30nmの膜厚で成長させた。

【0039】

次にTMAガスを止め、温度を1000℃まで上昇させた後、Ga源としてTMGガス、アンモニアガス、SiH₄ガスを流しながら成長させて、Siを添加したGaN層63を4μmの膜厚で成長させた。

【0040】

次にTMGガス、TMIガス、アンモニアガスを用いてGaNとGa_{0.80}In_{0.20}Nの積層構造からなる量子井戸構造の発光する層を含む層64を成長させた。

【0041】

次にTMA、TMGガス、Cp₂Mgガス、アンモニアガスを用い、温度1000℃でMgを添加したAl_{0.15}Ga_{0.85}N層65を成長させた。

【0042】

次にTMGガス、Cp₂Mgガス、アンモニアガスを用い、温度1000℃でMgを添加したGaN層66を成長させた。

【0043】

次にキャリアガスとして窒素ガスを流し、温度を800℃まで降温させた後、TMIガス、TMGガス、Cp₂Mgガス、SiH₄ガスアンモニアガスを流しながら5分間成長させて、SiとMgを添加したGa_{0.80}In_{0.20}N層67を1.5nmの膜厚で成長させた。

【0044】

次にTMGガス、TMIガス、アンモニアガスを止め、温度を800℃で、10分間維持した後、室温まで冷却し、以上を成長させたウエハを反応装置から取りだし、電子線照射装置に入れ、温度を約600℃にして加速電圧5kV、試料電流10μAの条件にてMgを添加したAl_{0.15}Ga_{0.85}N層65、Mgを添加したGaN層66及びSiとMgを添加したGa_{0.80}In_{0.20}N層67に電子線照射を行った。なお、この実施例においては、第1のIII族窒化物系化合物半導体層にはMgを添加したAl_{0.15}Ga_{0.85}N層65及びMgを添加したGaN層66が該当し、第2のIII族窒化物系化合物半導体層にはSiとMgを添加したGa_{0.80}In_{0.20}N層67が該当する。

【0045】

次にウエハの一部をエッティングしてSiを添加したGaN層63を露出させ、Siを添加したGaN層63及びSiとMgを添加したGa_{0.80}In_{0.20}N層67上にオーミック電極68、69を形成した後、ダイシングソーでチップ状にカットした。チップ断面構造を図2に示す。その後、リードフレーム上に実装し、ワイヤーボンディング、樹脂封止してランプを作製した

図3はSiとMgを添加したGa_{0.80}In_{0.20}N層67の存在しない場合（従来）と本件発明のSiとMgを添加したGa_{0.80}In_{0.20}N層67の存在する場合の順方向電流20mAにおける順方向電圧（V_f）と発光光度（明るさ）を比較した図である。なお、縦軸の数値は、従来を1とした場合の相対値で示した。本発明の場合にV

f 及び明るさともに5%程度の改善が見られることがわかる。

【0046】

上記実施例では基板にはサファイア (Al_2O_3) を用いたが、これに限定されることはなく、スピネル ($MgAl_2O_4$)、シリコン (Si)、炭化珪素 (SiC)、酸化亜鉛 (ZnO)、燐化ガリウム (GaP)、砒化ガリウム (GaAs)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化マンガン (MnO_2)、YSZ (安定化ジルコニアイットリア)、 ZrB_2 (ジルコニアジボライド) 等からなる基板を用いることができる。勿論、III族窒化物系化合物半導体単結晶等を用いることはできるとはいうまでもない。また、又、バッファ層は AlN を用いたが、 AlN 以外の GaN 、 InN 、 $AlGaN$ 、 $GaInN$ 及び $AlGaN$ 等の III 族窒化物系化合物半導体でもよく、窒化チタン (TiN_x) 等の金属窒化物でもよい。なお、III族窒化物系化合物半導体を基板として用いた場合は、当該バッファ層を省略することができる。更にバッファ層は MOVPE 法で形成されるがこれに限定されることはなく、材料としては GaN 、 InN 、 $AlGaN$ 、 $GaInN$ 及び $AlGaN$ 等を用いることができ、製法としては分子線結晶成長法 (MBE 法)、ハライド系気相成長法 (HYPE 法)、スパッタ法、イオンプレーティング法、電子シャワー法等を用いることができる。さらに基板とバッファ層は半導体デバイス形成後に、必要に応じて、除去することもできる。

【0047】

また、Si と Mg を添加した層、第1のIII族窒化物系化合物半導体層、第2のIII族窒化物系化合物半導体層は GaN 、 $AlGaN$ 、 $GaInN$ 層を用いたが、他の AlN や $AlGaN$ などの他の化合物を用いることができる。なお、第2のIII族窒化物系化合物半導体層は In を含む化合物であることが望ましい。なぜならば、 In を含む III 族窒化物系化合物半導体は、 InN の結合が弱いため、 In は容易に第1のIII族窒化物系化合物半導体層に拡散しやすい。そのため、第1のIII族窒化物系化合物半導体層の p 型不純物が、第2のIII族窒化物系化合物半導体層により拡散しやすくなり、その結果、拡散した第2のIII族窒化物系化合物半導体層の p 型不純物が、第1のIII族窒化物系化合物半導体層内における In の位置に収まり、アクセプタとして機能するからである。

【0048】

Si を添加した層、p 型不純物を添加した層は単層に限られず、不純物濃度やバンドギャップエネルギーの異なる複数の層で構成することも可能である。また、超格子構造を採ることもできる。

【0049】

発光する層を含む層は量子井戸構造を例としたが、発光ダイオードの構造としてはシングルヘテロ型、ダブルヘテロ型及びホモ接合型のものなどでもよい。

【0050】

更に、第2のIII族窒化物系化合物半導体層を除去する工程は、昇温による熱分解により行ったが、エッティングや研磨によても可能である。エッティングはプラズマ等を用いるドライエッティング法や酸やアルカリ溶液を用いるウエットエッティング法が適用できる。なお、実施例4における Mg を添加した第1のIII族窒化物系化合物半導体である $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 層上の第2のIII族窒化物系化合物半導体である $Al_{0.85}In_{0.15}N$ 層をエッティングや研磨で除去する場合は、第2のIII族窒化物系化合物半導体である $Al_{0.85}In_{0.15}N$ 層形成後に室温まで降温し、反応装置からウエハを取出して、エッティング装置や研磨装置により処理した後に、再度、反応装置にウエハを載置して昇温の後、第1のIII族窒化物系化合物半導体である Mg を添加した GaN 層の結晶成長を行う。

【0051】

実施例ではデバイスとしては発光ダイオードを例に説明したが、この発明は前述のように III 族窒化物系化合物半導体を用いた各種半導体デバイスに適用される。ここにデバイスには、発光ダイオード、受光ダイオード、レーザダイオード、太陽電池等の光デバイスの他、整流器、サイリスタ及びトランジスタ等のバイポーラデバイス、FET 等のユニポ

ーラデバイス並びにマイクロウェーブデバイスなどの電子デバイスが挙げられる。

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】本発明の実施例1の構成を模式的に示した図である。

【図2】本発明の実施例6の構成を模式的に示した図である。

【図3】本発明の実施例6の効果を従来構成と比較した図である。

【符号の説明】

【0053】

11、61 基板

12、62 バッファ層

13 第1のIII族窒化物系化合物半導体層

14 第2のIII族窒化物系化合物半導体層

63 Siを添加したGaN層

64 GaNとGaN_{0.80}In_{0.20}Nの積層構造からなる量子井戸構造の発光する層を含む層

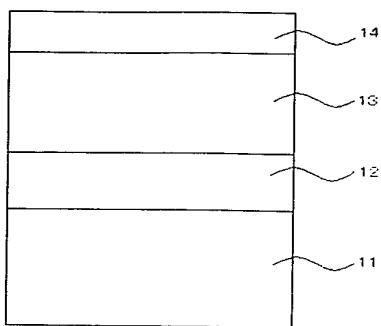
65 Mgを添加したAl_{0.15}GaN_{0.85}N層65

66 Mgを添加したGaN層66

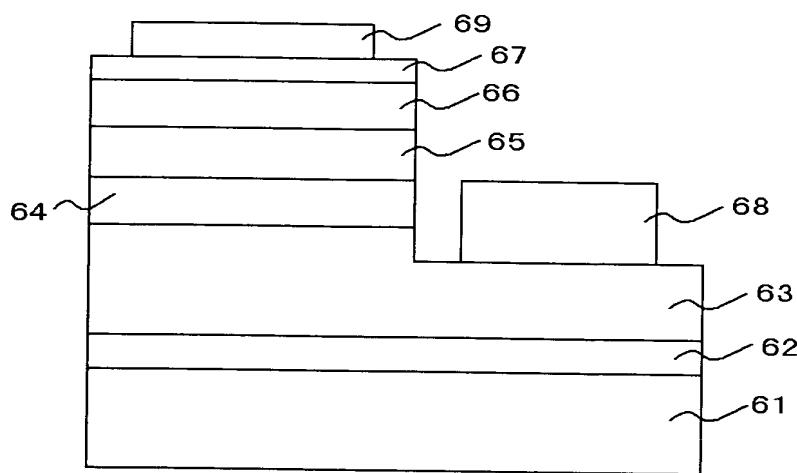
67 SiとMgを添加したGaN_{0.80}In_{0.20}N層67

68、69 オーミック電極

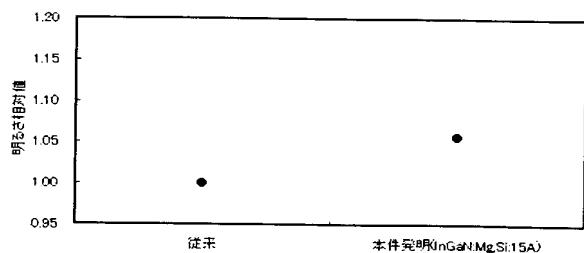
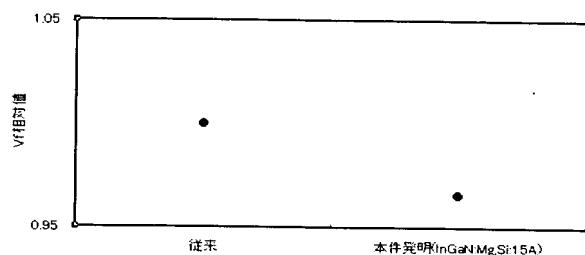
【書類名】 図面
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 p型III族窒化物系化合物半導体層の抵抗率を低減する。

【解決手段】 p型不純物を添加した第1のIII族窒化物系化合物半導層の上に、不純物無添加の、若しくはn型不純物を添加した若しくはn型不純物及びp型不純物を添加した第2のIII族窒化物系化合物半導層を形成し、第2のIII族窒化物系化合物半導層を形成中又は形成後に加熱処理により低抵抗化処理を行う。

【選択図】 図1

特願 2003-279732

出願人履歴情報

識別番号 [000241463]

1. 変更年月日 1990年 8月 9日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地
氏 名 豊田合成株式会社